

## Növényi hatóanyagok kinyerése és elválasztása

Simándi Béla  
BME Kémiai és Környezeti  
Folyamatmérnöki  
simandi@mail.bme.hu

---

---

---

---

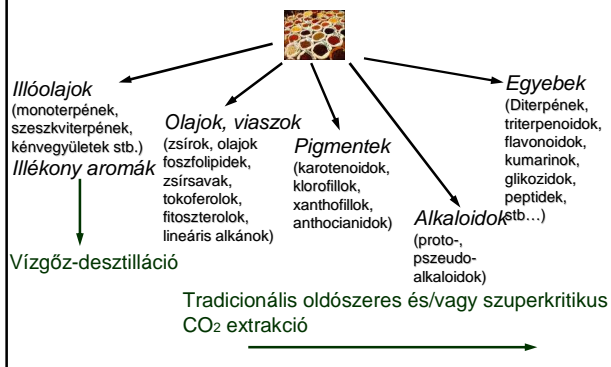
---

---

---

---

## Növényi hatóanyagok



---

---

---

---

---

---

---

---

## Az illóolajok története

- Ókor: Kína, India, Egyiptom, Perzsia
- Középkor: alkimisták
- 19. század: ipari gyártás
- 1920-as évek: Bittera Gyula (illóolajos növények elterjesztése)
- 1970-1980: Magyarország illóolaj „nagy hatalom”

---

---

---

---

---

---

---

---

## Vízgőz-desztilláció



Herb Garden and Distillery, from Hieronymus Brunschwig's "Liber de arte Distillandi de Simplicibus" 1516

---

---

---

---

---

---

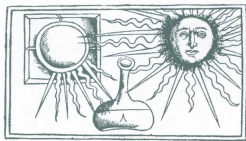
---

---

## Középkori ábrázolások

"Let the powers of nature shine  
within you"

Paracelsus (1493-1541)



Brunswick - 1512 - Distillation under the sun



"One of the prime virtues of essential oils is their ability to inspire total communion between man and nature. Through hard work and an applied mind, people have learnt to extract and make the most of nature's hidden treasures."

---

---

---

---

---

---

---

---

## Vízgőz-desztilláció – a 19. században

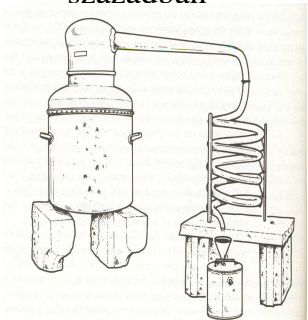


FIGURE 11: A 19th-century French lavender still (by courtesy of Raspail of Saillan)

---

---

---

---

---

---

---

---

### Illóolaj elválasztási módszerek

- Víz-, víz és gőz-, és gőzdesztilláció
- Hidrodifúzió / perkoláció
- Sajtolás
- Oldószeres extrakció:
  - Konkrét előállítása
  - Abszolút előállítása
  - Enfleurage

---

---

---

---

---

---

---

---

### Az illóolaj komponensek forrpontja légköri nyomáson

- Monoterpén szénhidrogének: 160-180°C
- Monoterpén alkoholok: 200-230°C
- Szeszkviterpén szénhidrogének: 260-290°C

---

---

---

---

---

---

---

---

### Elméleti alapok

$$P_{olaj}^0 + P_{víz}^0 = P$$

$$y_{olaj} = \frac{P_{olaj}^0}{P} \quad y_{víz} = \frac{P_{víz}^0}{P}$$

$$\frac{n_{víz}}{n_{olaj}} = \frac{P_{víz}^0}{P_{olaj}^0}$$

$$\frac{m_{víz}}{m_{olaj}} = \frac{P_{víz}^0 \cdot M_{víz}}{P_{olaj}^0 \cdot M_{olaj}}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Számított vízgőz-szükséglet

- Monoterpén szénhidrogének 0,6 kg/kg
- Oxigéntartalmú monoterpének 8 kg/kg
- Szeszkviterpének 18 kg/kg

A gyakorlatban több gőz kell:

- Nem egyensúlyi állapot
- Az illóolaj zsírokban van oldva
- Az illóolaj a sejteken belül van

---

---

---

---

---

---

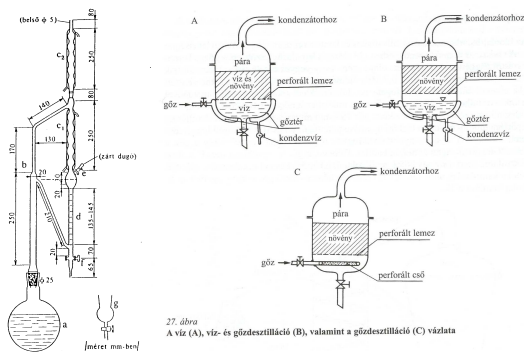
---

---

---

---

## Víz-, víz és gőz-, és gőzdesztilláció




---

---

---

---

---

---

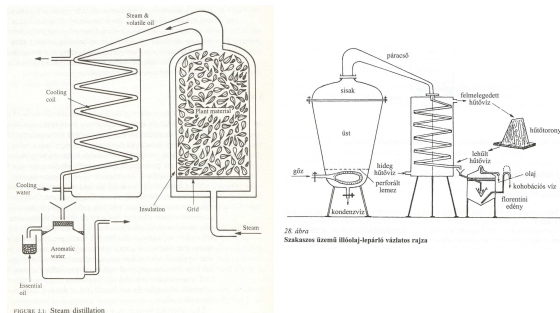
---

---

---

---

## Vízgőz-desztilláció




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Néhány olaj lepárlási ideje (4 m<sup>3</sup> üst)

- Levendula 40 – 60 min
- Muskotályzsálya 40 – 60 min
- Borsmenta 90 – 120 min
- Kapor növény (nyers) 120 – 180 min
- Kapor termés 250 – 350 min
- Angelika gyökér 300 – 600 min
- Kamilla virág 300 – 600 min

---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

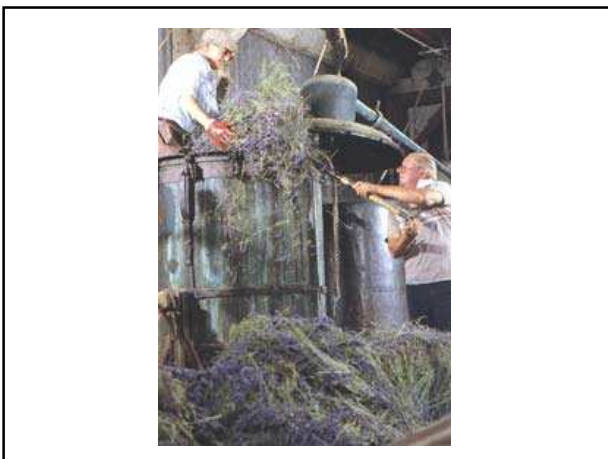
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---

### Illóolaj elválasztási módszerek

- Vízgőz-desztilláció
- Hidrodifúzió / perkoláció

---

---

---

---

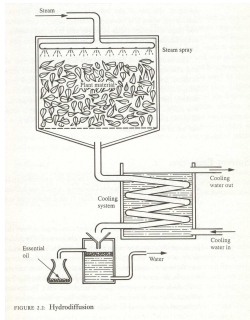
---

---

---

---

## Hidrodifúzió




---

---

---

---

---

---

---

---

## Elválasztási módszerek

- Víz, víz és gőz-, és gőzdesztilláció
- Hidrodifúzió / perkoláció
- Sajtolás (hidegen sajtolás, centrifugálás)
- Oldószeres extrakció:
  - Folyadék / folyadék extrakció
  - Szilárd / folyadék extrakció:
    - Konkrét előállítás (apoláris oldószeres extrakció)
    - Abszolút előállítás (konkrét etanolos kivonata)
    - Enfleurage (szirmok állati zsírhoz történő hozzáadása, majd extrakció)




---

---

---

---

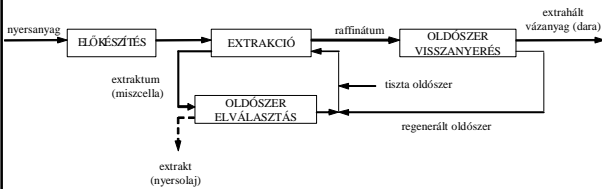
---

---

---

---

## Oldószeres extrakció



A szilárd – folyadék extrakció fő műveleti lépései

---

---

---

---

---

---

---

---

Rolling Mill



---

---

---

---

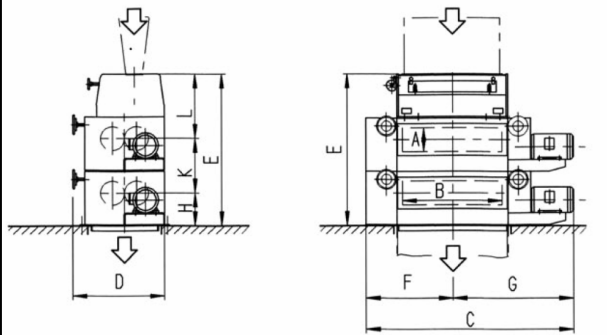
---

---

---

---

Rolling Mill



---

---

---

---

---

---

---

---

Flaking Mill



---

---

---

---

---

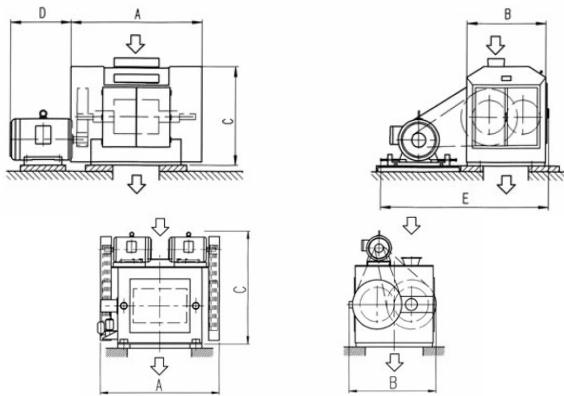
---

---

---



# Flaking Mill



---

---

---

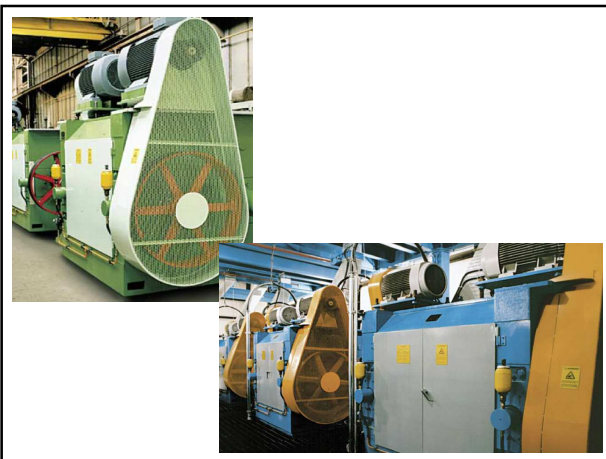
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---

Olívaolaj kinyerése sajtolással



---

---

---

---

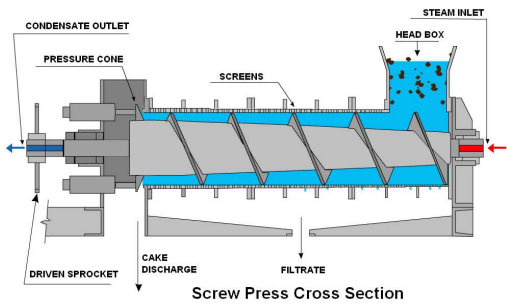
---

---

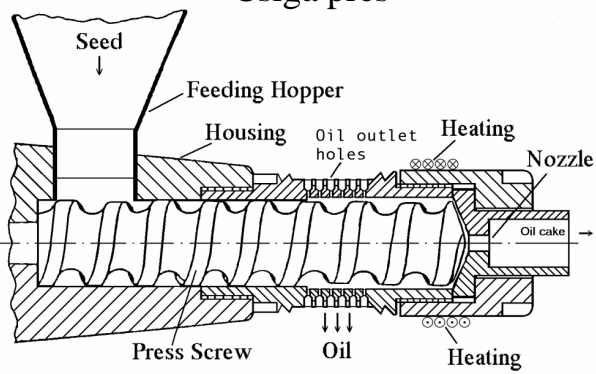
---

---

# Csiga prés



# Csiga prés






---

---

---

---

---

---

---

---

## GMP technológiákban korlátlanul használható oldószerek

| <i>Gázok</i>    | <i>Folyadékok</i>         |
|-----------------|---------------------------|
| propán          | etil-alkohol <sup>2</sup> |
| bután           | etil-acetát               |
| szén-dioxid     | aceton <sup>1</sup>       |
| dinitrogén-oxid | víz <sup>2</sup>          |

<sup>1</sup> Az aceton nem használható olívatörkölyből készült olaj finomítására.  
<sup>2</sup> Az etanol és a víz (amely savassága vagy lúgossága beállítására szolgáló anyagot is tartalmazhat) extrakciós oldószerként korlátozás nélkül használható.

---

---

---

---

---

---

---

---

| Extrakciós oldószerek élelmiszerek és élelmiszer adalékok előállítására |  |   |
|---|--|---|
| <i>Név</i>  | <i>Felhasználás</i>  | <i>Termékekben megengedett maradék</i>  |
| hexán <sup>1</sup>  | Zsírok és olajok előállításának frakcionálása, kakaóvaj előállításának; Fehérjék, lisztek, darák zsírtmentesítése; Zsírtmentes gabonacsírák előállításának | 1 mg/kg zsírokban, olajokban, kakaóvajban;<br>10 mg/kg az élelmiszerekben, amelyek a zsírtmentes fehérjét, lisztet tartalmaznak;<br>30 mg/kg a zsírtmentes szója termékekben;<br>5 mg/kg a zsírtmentes csírában |
| metil-acetát  | Koffeinmentesítés, izgató és keserű anyagok eltávolítása kávéból és teából; Cukor kinyerése melaszából   | 20 mg/kg kávé ill. tea;<br>1 mg/kg cukor  |
| etil-metil-ke-ton <sup>2</sup>  | Zsírok és olajok frakcionálása; Koffeinmentesítés, izgató és keserű anyagok eltávolítása kávéból és teából   | 5 mg/kg zsír ill. olaj;<br>20 mg/kg kávé ill. tea   |
| diklór-metán  | Koffeinmentesítés, izgató és keserű anyagok eltávolítása kávéból és teából   | 2 mg/kg pörkölt kávé;<br>5 mg/kg tea  |
| metil-alkohol   | Minden célra   | 10 mg/kg  |
| izopropil-alkohol   | Minden célra   | 10 mg/kg  |

---

---

---

---

---

---

---

---

## Extrakciós oldószerek természetes ízesítők és aromák kinyerésére

| Név                     | A megengedett maradék az élelmiszerben, amelyben a kivonatot felhasználják |
|-------------------------|--|
| dietil-éter             | 2 mg/kg  |
| hexán'                  | 1 mg/kg  |
| ciklohexán              | 1 mg/kg  |
| metil-acetát            | 1 mg/kg  |
| bután-1-ol              | 1 mg/kg  |
| bután-2-ol              | 1 mg/kg  |
| etil-metil-keton'       | 1 mg/kg  |
| diklór-metán            | 0,02 mg/kg   |
| propán-1-ol             | 1 mg/kg  |
| 1,1,1,2-tetrafluor-etán | 0,02 mg/kg   |

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Extrakciós oldószerek fizikai-kémiai jellemzői

| Név                            | n-hexán                        | izohexán                       | etil-alkohol                    | izopropil-alkohol               | etil-acetát                                  | aceton                          |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|
| CAS-szám                       | 110543                         | 107835                         | 64176                           | 67630                           | 141786                                       | 67641                           |
| Képlet                         | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O |
| Móltömeg                       | 86,18                          | 86,18                          | 46,07                           | 60,11                           | 88,11  | 58,08                           |
| Sűrűség, kg/m <sup>3</sup>     | 671                            | 653                            | 785                             | 818                             | 902  | 791                             |
| Olvadáspont, °C                | -95                            | -154                           | -130                            | -89                             | -84  | -94                             |
| Forráspont, °C                 | 68,7                           | 62                             | 78,4                            | 82,4                            | 77   | 56                              |
| Lobbanáspont, °C               | -23                            | -7                             | 12                              | 12                              | -3 - 0                                       | -17 - (-16)                     |
| Öngyulladás, °C                | 260                            | 264                            | 425                             | 400                             | 460  | 538                             |
| Robbanási határ, (V/V)%        | 1,2 - 7,7                      | 1,2 - 7                        | 3,3 - 19,0                      | 2,5 - 12,0                      | 2,3 - 11,4                                   | 2,2 - 13                        |
| Párolgáshő, kJ/kg              | 334,5                          | 324,1                          | 854,1                           | 667,0                           | 430,8  | 512,3                           |
| Fajhő, kJ/kgK                  | 2,23                           | 2,23                           | 2,55                            | 2,50                            | 2,13   | 2,14                            |
| Oldhatóság vízben <sup>1</sup> | nem                            | nem                            | old.                            | old.                            | korl.  | old.                            |

---

---

---

---

---

---

---

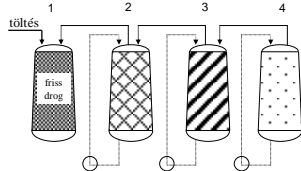
---

---

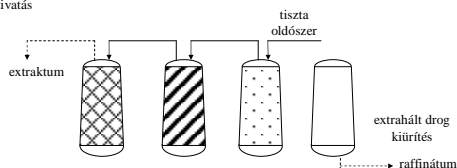
---

## Szakaszos lémozgatású battéria üzemeltetése

1. leszívás



2. leszívás




---

---

---

---

---

---

---

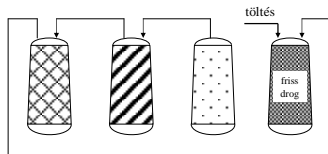
---

---

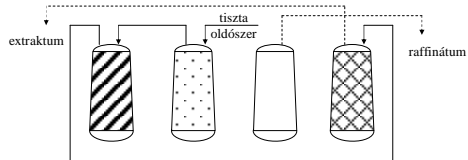
---

### Szakaszos lémozgatású battéria üzemeltetése

3. leszivtatás



4. leszivtatás




---

---

---

---

---

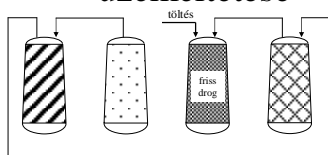
---

---

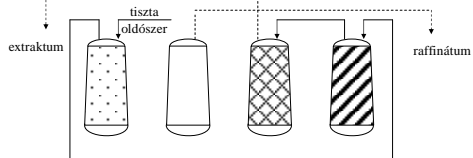
---

### Szakaszos lémozgatású battéria üzemeltetése

5. leszivtatás



6. leszivtatás




---

---

---

---

---

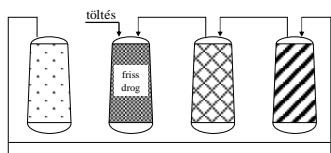
---

---

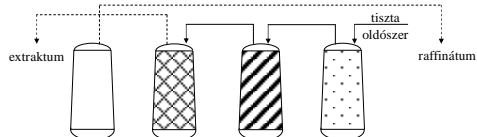
---

### Szakaszos lémozgatású battéria üzemeltetése

7. leszivtatás



8. leszivtatás




---

---

---

---

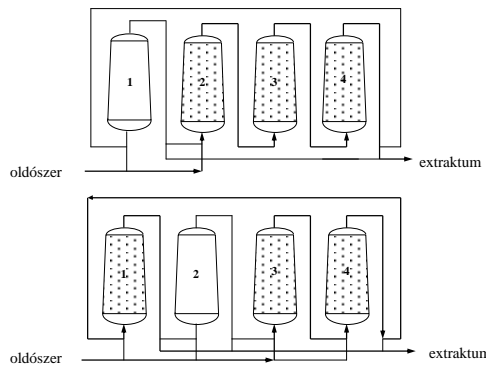
---

---

---

---

### Folyamatos lémozgatású ellenáramú battéria üzemeltetése




---

---

---

---

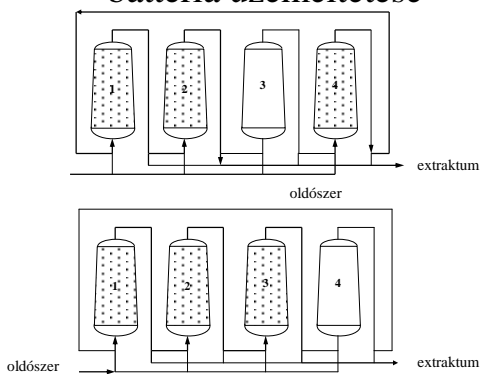
---

---

---

---

### Folyamatos lémozgatású ellenáramú battéria üzemeltetése




---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

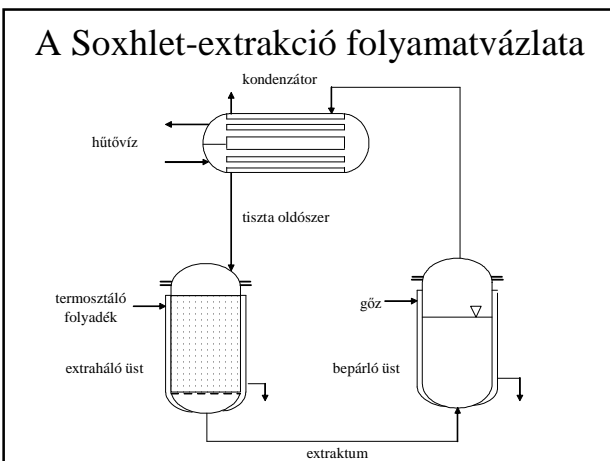
---

---

---

---

---




---

---

---

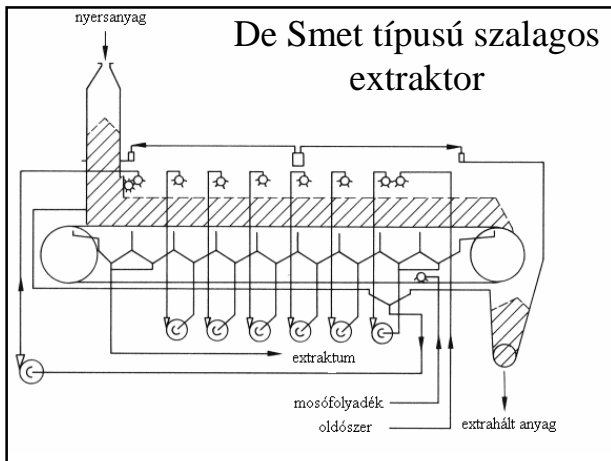
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

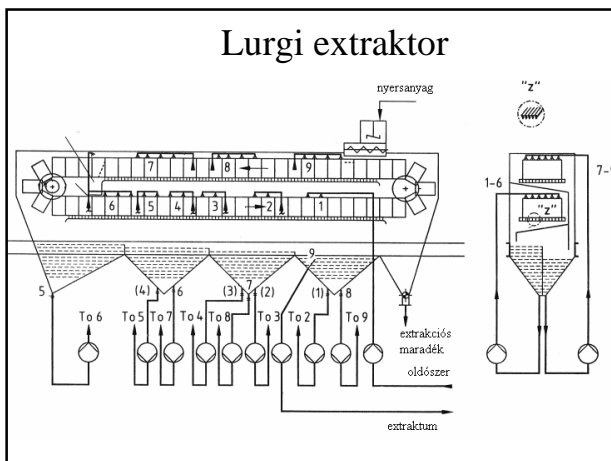
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

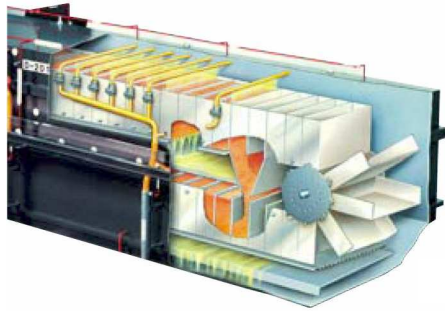
---

---

---



Lurgi extraktor



---

---

---

---

---

---

---

---

Lurgi extraktor



---

---

---

---

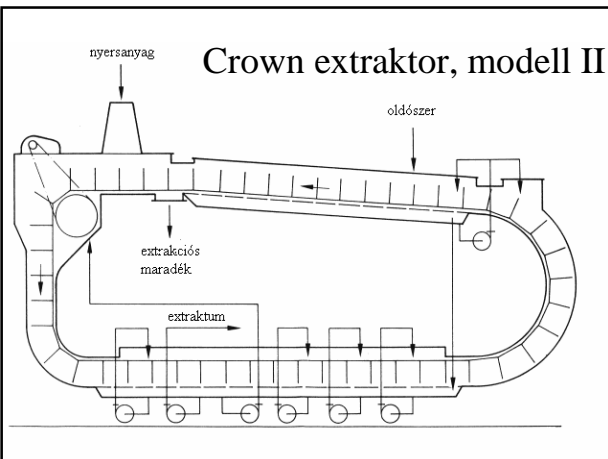
---

---

---

---

Crown extraktor, modell II



---

---

---

---

---

---

---

---

Crown ekstraktor, modell II



---

---

---

---

---

---

---

---

Crown ekstraktor, modell II



---

---

---

---

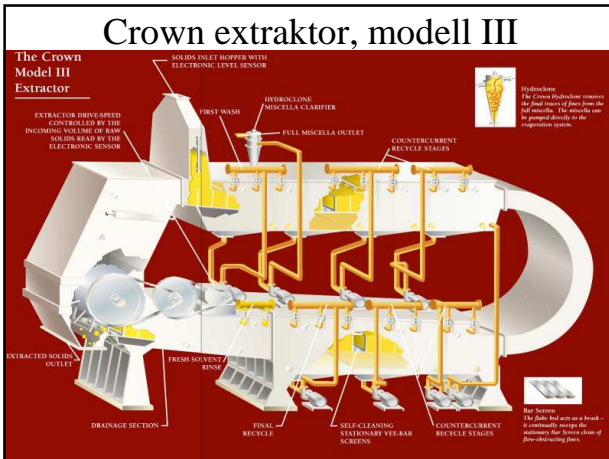
---

---

---

---

Crown ekstraktor, modell III



---

---

---

---

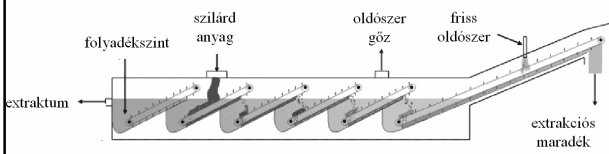
---

---

---

---

### Crown extraktor, modell IV




---

---

---

---

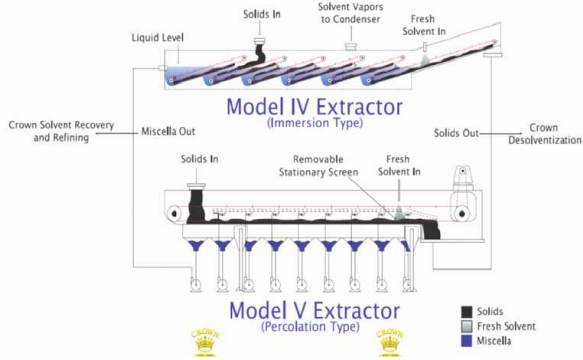
---

---

---

---

### CROWN MODEL IV AND MODEL V EXTRACTORS




---

---

---

---

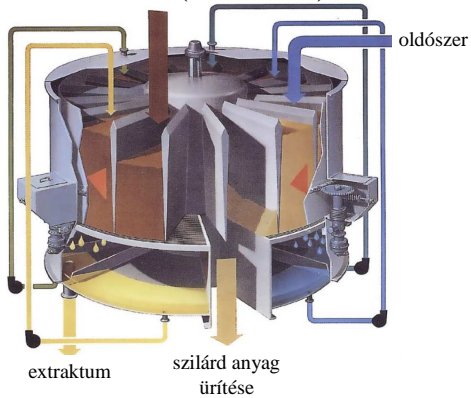
---

---

---

---

### Karusszel- (Rotocel-) extraktor




---

---

---

---

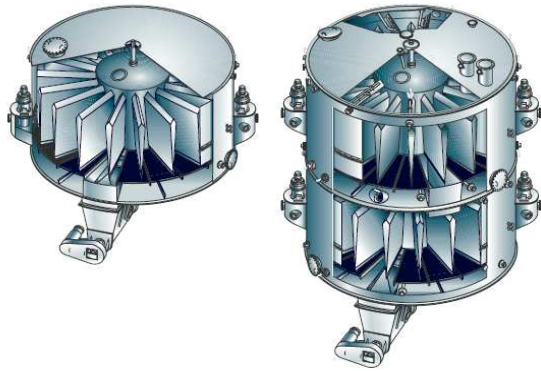
---

---

---

---

### Karusszel- (Rotocel-) extraktor



---

---

---

---

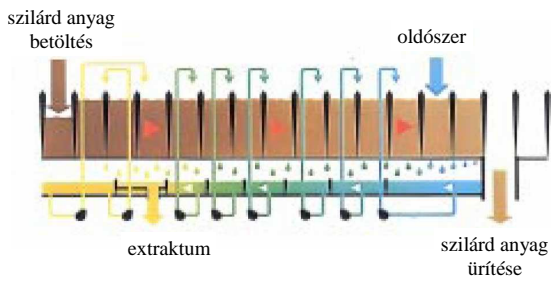
---

---

---

---

### Karusszel- (Rotocel-) extraktor



---

---

---

---

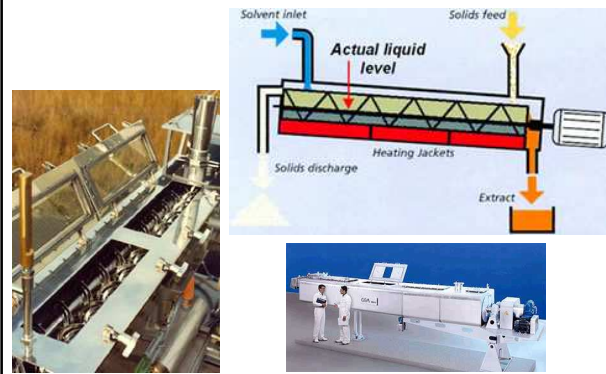
---

---

---

---

### CONTEX-extraktor



---

---

---

---

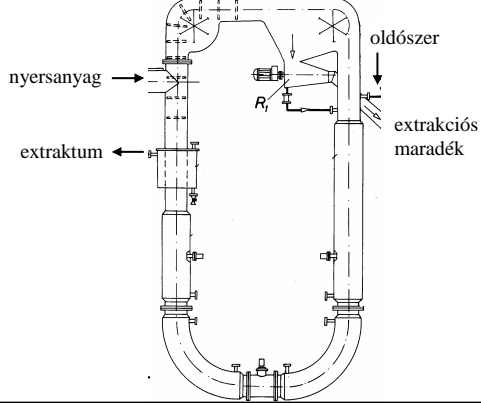
---

---

---

---

### U-extraktor gyógynövények feldolgozására




---

---

---

---

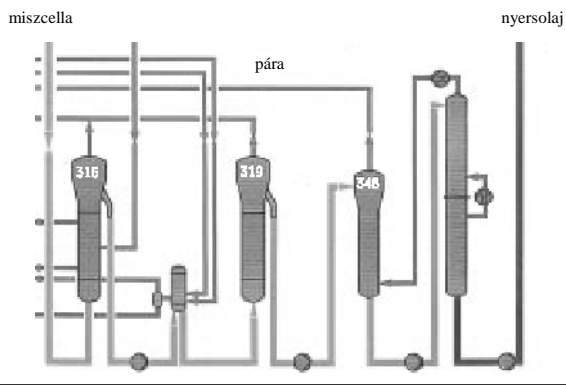
---

---

---

---

### Az oldószer visszanyerése miszcellából




---

---

---

---

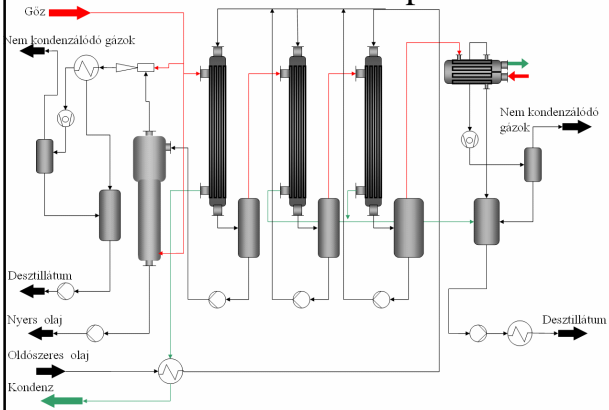
---

---

---

---

### Három-tesztés esőfilmes bepárló rendszer




---

---

---

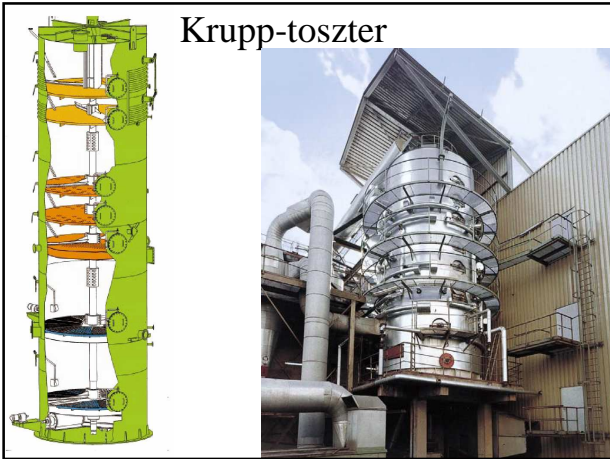
---

---

---

---

---




---



---



---



---



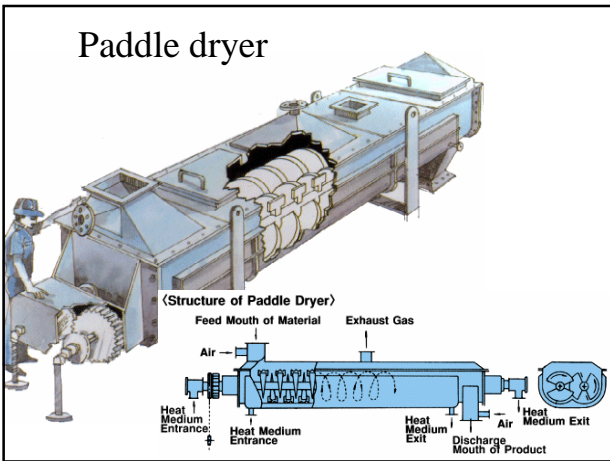
---



---



---




---



---



---



---



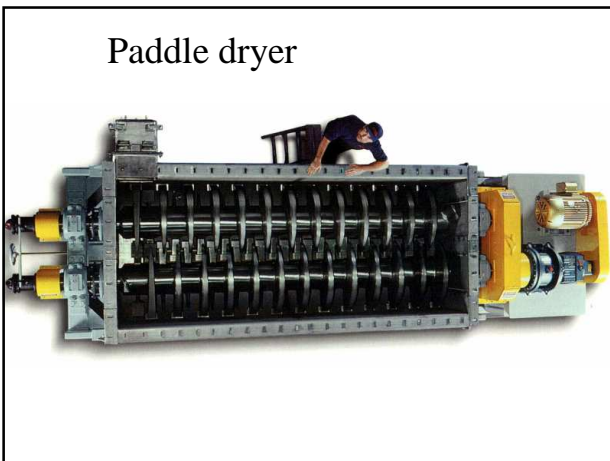
---



---



---




---



---



---



---



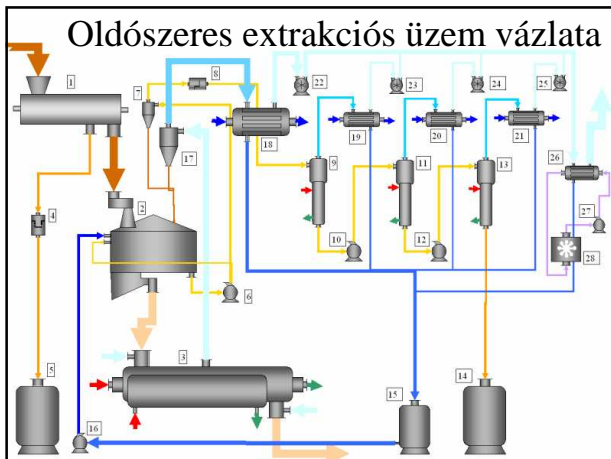
---



---



---




---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

### Szilárd-folyadék extrakció számítása

**Empirikus egyenletek**  
 A **szakaszos olaj extrakció** leírására a Fan által javasolt összefüggés használható [Fan et al., 1948]:

$$\log \frac{Q}{Q_0} = 0,0911 - 1,0715 \frac{D_{eff}}{L^2} t$$

ahol  $Q$  a vázanyagban levő olaj mennyisége (kg/kg),  
 $Q_0$  a kezdeti olajmennyiség a vázanyagban (kg/kg),  
 $D_{eff}$  látszólagos diffúziós együttható (m<sup>2</sup>/s),  
 $L$  a lapkák vastagsága (m),  
 $t$  extrakciós idő (s).

---

---

---

---

---

---

---

---

A **részecskeméret hatását** a következő összefüggéssel lehet figyelembe venni [Coats és Wingard, 1950]:

$$t_{0,01} = K * L^n$$

ahol  $t_{0,01}$  az 1% maradék olajtartalom eléréséig szükséges idő (min),  
 $L$  a lapka vastagsága vagy a dara átmérője (1 inch=25 mm egységekben),  
 $K$  empirikus konstans (1,4 – 3600),  
 $n$  empirikus konstans (2 – 8).

A **hőmérséklet hatása** a (2) egyenlethez hasonló formában írható le:

$$t_{0,01} = K' * T^{-m}$$

ahol  $t_{0,01}$  az 1% maradék olajtartalom eléréséig szükséges idő (min),  
 $T$  az extrakció hőmérséklete (°C),  
 $K'$  empirikus konstans,  
 $m$  empirikus konstans (1,9 – 2,4).

A különböző **gyógynövény hatóanyagok szakaszos extrakciója** jól közelíthető a következő összefüggéssel [Minchev és Minkov, 1984]:

$$c_1 = a - b \exp(-Ht)$$

ahol  $c_1$  az oldott anyag koncentrációja az extraktumban (kg/m<sup>3</sup>),  
 $a, b, H$  empirikus konstansok,  
 $t$  idő (s).

#### Közelítő számítások a Fick-II egyenlet alapján

1. Szakaszos extrakciónál az extrahálólé ( $B$ ) és a sejtlé tömegének ( $A$ ) aránya a művelet során nem változik ( **folyadékarány** :  $f = B/A = \text{állandó}$ ). Folyamatos extrakciónál a tömegáramok aránya állandó.
2. Az extrahálólé és a sejtlé **sűrűsége** az extrakció alatt gyakorlatilag **nem változik**.
3. A kioldódó komponens a szilárd vázanyag csak **gyengén adszorbeálja**.
4. A sejtlé (raffinátum) összetétele **az extrakció kezdetén** ( $t = 0$ ) a szilárd anyagban **mindenütt azonos**:  $x_0$  (kg értékes anyag / kg sejtlé)
5. Az extrahálódó anyag azonos alakú, és méretű szabályos részecskékből áll, és az extrakció közben a **részecskék alakja és mérete nem változik**.
6. Az extrahálódó anyag **lemez, henger vagy gömb alakú** (pl. gyógynövény levél, szár illetve aprított, örölt anyag). Feltételezzük, hogy a planparallel lemez a vastagságához képest a tér másik két irányában végtelen kiterjedésű, a henger alakú részecske az átmérőjéhez viszonyítva végtelen hosszúságú.
7. A szilárd részecske minden irányban azonos tulajdonságú (**izotróp**), azaz az effektív diffúziós tényező értéke iránytól független.
8. Szakaszos extrakciónál a folyadékot keverjük vagy cirkuláltatjuk a rendszerben, így az extrahálólé tökéletesen kevertnek tekinthető, azaz az **extrahálólében mindenütt ugyanaz a koncentráció**:  $y$  (kg értékes anyag/kg extrahálólé).

#### Szakaszos extrakció számítása

$$D_{eff} \left[ \frac{\partial^2 x}{\partial r^2} + \frac{C-1}{r} \frac{\partial x}{\partial r} \right] = \frac{\partial x}{\partial t}$$

Ahol  $D_{eff}$  látszólagos diffúziós tényező (m<sup>2</sup>/s),  
 $x$  koncentráció a vázanyagban (kg/kg),  
 $r$  helykoordináta (m),  
 $t$  idő (s),  
 $C$  szimmetria tényező értéke: planparallel lemez ( $C = 1$ ), henger ( $C = 2$ ), gömb ( $C = 3$ ).



**A kioldás végtelen mennyiségű oldószerezrel történik** ( $B \gg A$  illetve  $E \gg R$ ) [Newman 1931; Dünwald and Wagner 1934]

$$t = 0 \quad x(r,0) = x_0 \quad \text{és} \quad x(R,0) = y_0 = 0$$

$$r = 0 \quad \left( \frac{dx}{dr} \right)_{r=0} = 0 \quad \text{és} \quad r = R \quad x(R,t) = y = 0$$

$$\frac{\bar{x}(t)}{x_0} = 2C \sum_{j=1}^{\infty} \frac{\exp(-\xi_j^2 Fi)}{\xi_j^2}$$

Ahol  $Fi = D_{eff} t / R^2 = t / t_D^*$  dimenziómentes Fick-szám,  
 $t_D^* = R^2 / D_{eff}$  a diffúzió időállandója,  
 $\xi_j$  az alábbi egyenletek  $j$ -edik pozitív gyöke

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

planparallel lemez:  $\xi_j = \frac{2j-1}{2} \pi$

henger:  $J_0(\xi_j) = 0$

Ahol  $J_0$  nulladrendű elsőfajú Bessel-függvény  
 [Bronstejn és Szemengyajev, 1974] (első  $\xi_j$  néhány értéke táblázatból  
 2,405; 5,520; 8,654)

gömb:  $\xi_j = j\pi$

$$\frac{\bar{x}(t)}{x_0} = K \exp\left(-\frac{t}{T_D^*}\right)$$

Ahol  $K$  és  $T_D^*$  konstansok az egyszerűsítés során kifejezhetők

lemez:  $K = \frac{8}{\pi^2} \quad T_D^* = \frac{4R^2}{\pi^2 D_{eff}}$

henger:  $K = \frac{4}{2,405^2} \quad T_D^* = \frac{R^2}{2,405^2 D_{eff}}$

gömb:  $K = \frac{6}{\pi^2} \quad T_D^* = \frac{R^2}{\pi^2 D_{eff}}$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Extrakció véges mennyiségű oldószerezrel**

$$Ax_0 + By_0 = A\bar{x} + By$$

Ahol  $x_0$  és  $y_0$  a sejtél illetve az extrahálólé kezdeti koncentrációja,  
 $\bar{x}$  a sejtél átlag koncentrációja a szilárd anyagban.

$$y_{\infty} = \bar{x}_{\infty} = \frac{x_0 + f y_0}{1 + f}$$

Peremfeltételek a Fick-II egyenlethez:

$$t = 0 \quad x(r,0) = x_0 \quad \text{és} \quad x(R,0) = y_0 = 0$$

$$x(r = R, t) = y(t) \quad \text{és} \quad \left[ \frac{dx}{dr} \right]_{r=0} = 0$$

$$B \frac{dy}{dt} = -D_{eff} F \rho_A \left[ \frac{dx}{dr} \right]_{r=R}$$

Ahol  $\rho_A$  a sejtél sűrűsége (kg/m<sup>3</sup>).

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

A szilárd részecske felületének ( $F_p$ , m<sup>2</sup>) és térfogatának ( $V_p$ , m<sup>3</sup>) aránya:

$$\frac{F_p}{V_p} = \frac{C}{R}$$

Ahol  $R$  a lemez félvastagsága, a henger illetve a gömb sugara (m), index a részecskére (*particle*) utal.

A diffúzió szempontjából hasznos felület,  $N$  számú azonos méretű részecskét feltételezve

$$F = eNF_p = \varepsilon \frac{C}{R} NV_p$$

Ahol  $\varepsilon$  a sejtlé térfogat hányada a szilárd részecskében (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

$$\varepsilon = \frac{A}{\rho_A NV_p}$$

Behelyettesítve ezt a kifejezést a fenti egyenletbe

$$F = \frac{AC}{\rho_A R}$$

$$-\frac{fR}{CD_{eff}} \left[ \frac{\partial x}{\partial t} \right]_{r=R} = \left[ \frac{\partial x}{\partial r} \right]_{r=R}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

A parciális differenciálegyenlet megoldása [Akszelrud, 1974]:

$$\frac{\bar{x}(t) - x_{\infty}}{x_0 - x_{\infty}} = \frac{y_{\infty} - y(t)}{y_{\infty} - y_0} = P(t) \quad P(t) = 2f(1+f)C \sum_{j=1}^{\infty} \frac{\exp(-\xi_j^2 \cdot Fi)}{(f\xi_j)^2 + (1+f)C^2}$$

Ahol  $Fi = D_{eff}t/R^2 = t/t_D^*$  dimenziómentes Fick-szám,

$t_D^* = R^2/D_{eff}$  a diffúzió időállandója,

$\xi_j$  az alábbi egyenletek  $j$ -edik pozitív gyöke planparalel lemez:

$$tg \xi_j = -f \xi_j \quad \frac{J_1(\xi_j)}{J_0(\xi_j)} = -\frac{f \xi_j}{2}$$

Ahol  $J_0$  és  $J_1$  nullad- ill. elsőrendű elsőfajú Bessel-függvény [Bronstejn és Szemengyajev, 1974]

gömb:  $tg \xi_j = \frac{3\xi_j}{3 + f\xi_j^2}$

Az ábrán  $\frac{y_{\infty} - y(t)}{y_{\infty} - y_0}$  változása látható gömb-alakú részecske esetén különböző folyadékárányok mellett a Fick-szám függvényében.

---

---

---

---

---

---

---

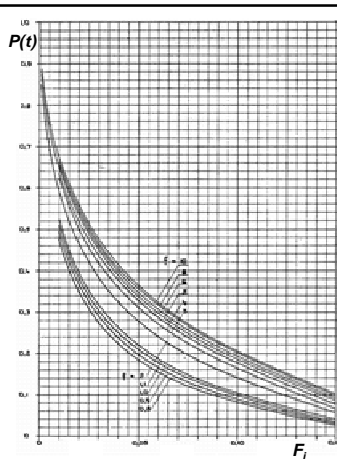
---

---

---

---

---



Gömb-alakú részecskék szakaszos extrakciója

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Folytonos, ellenáramú extrakció számítása

Komponensmérleg az extraktor dl szakaszára

$$-\dot{m}_E dy = -D_{eff} \rho_R \left[ \frac{\partial x}{\partial r} \right]_{r=R} dF \quad dF = \frac{C \dot{m}_R}{\rho_R R} dt$$

Ahol  $\dot{m}_E$  extraktum tömegárama (kg/s),

$\dot{m}_R$  raffinátum tömegárama (kg/s),

$$f = \frac{\dot{m}_E}{\dot{m}_R}$$

$$\frac{fR}{CD_{eff}} \left[ \frac{\partial x}{\partial t} \right]_{r=R} = \left[ \frac{\partial x}{\partial t} \right]_{r=R} \quad \bar{x}_{Ei} = \Theta(\bar{t}) \frac{f-1}{f-\Theta(\bar{t})}$$

$$\Theta(\bar{t}) = 2f(f-1)C \sum_{j=1}^{\infty} \frac{\exp(-\mu_j^2 \cdot Fi)}{(f\mu_j)^2 - (f-1)C^2}$$

Ahol  $Fi = D_{eff} \bar{t} / R^2 = \bar{t} / t_D^*$  dimenziómentes Fick-szám,  
 $\mu_j$  az alábbi egyenletek  $j$ -edik pozitív gyöke

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

planparallel lemez:  $\text{tg } \mu_j = f\mu_j$

henger:  $\frac{J_1(\mu_j)}{J_0(\mu_j)} = \frac{f\mu_j}{2}$  Ahol  $J_0$  és  $J_1$  nullad- ill. elsőrendű elsőfajú Bessel-függvény

gömb:  $\text{tg } \mu_j = \frac{3\mu_j}{3-f\mu_j^2}$

---

---

---

---

---

---

---

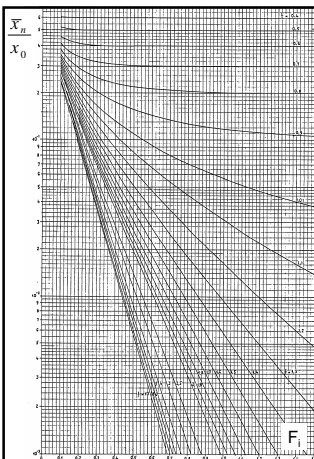
---

---

---

---

---



Gömb-alakú részecskék ellenáramú extrakciója

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Irodalom**

Akszelrud, G.A.: Tömegátadás szilárd – folyadék rendszerben, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.

Oplatka Gy.: Magyar Kémikusok Lapja, 4, 10 (1949).

Fan, H.P., Morris, J.C., Wakeham, H.: Diffusion phenomena in solvent extraction of peanut oil, Ind. Eng. Chem., 40,195 (1948).

Coats, H.B., Wingard, M.R.: Solvent extraction. III. The effect of particle size on extraction rate, JAOCS, 27, 93 (1950).

Minchev, A., Minkov, S.: A model for determination of the effective diffusion coefficient by the standard function technique, J. Appl. Chem., 57, 717 (1984).

Tettamanti K., Manczinger J., Hunek J., Stomfai R.: Calculation of countercurrent solid-liquid extraction, Acta Chimica Acad. Sci. Hung., 85, 27 (1975).

Hunek J.: Vegyipari műveletek VI. Extrakció, Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.

Bronstejn, I.N., Szemengyajev, K.A.: Matematikai zsebkönyv, 3. kiadás, 596. old., Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.

---

---

---

---

---

---

---

---

**Köszönöm a figyelmüket!**

---

---

---

---

---

---

---

---